



DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.
Informations-Centrum Schrauben

Empfehlung

**Prüfung der Technischen Sauberkeit
von Schrauben und Muttern
für die Automobilindustrie**

Februar 2016

Inhalt

1.	Anwendungsbereich.....	3
2.	Verweisungen.....	3
3.	Grundsätzliches zur Technischen Sauberkeit	4
4.	Ermittlung der Technischen Sauberkeit	6
5.	Angabe von Anforderungen an die Technische Sauberkeit in Zeichnungen	8
6.	Kostenbetrachtung	9
7.	Anlage 1: Erreichbare Sauberkeitsgrade bei Verbindungselementen mit Außengewinde nach der Beschichtung (*)	10
8.	Literatur	10

1. Anwendungsbereich

Diese Empfehlung dient als Konstruktionshilfe zur Einstufung sauberkeitsrelevanter Bauteile, zur Festlegung geeigneter Oberflächenbeschichtungen und zur Bestimmung von Grenzwerten für die Sauberkeit.

Diese Empfehlung beschreibt im Hinblick auf die Anforderungen der Automobilindustrie die erreichbaren partikulären Sauberkeitsgrade bei funktionsrelevanten Verbindungselementen, insbesondere für Schrauben aus Stahl. Nicht behandelt werden organische Verunreinigungen (z. B. *Öle, Fette*) und Reinigerrückstände.

Zum Erreichen einer Forderung an die Technische Sauberkeit von Schrauben und Muttern ist eine ganzheitliche Betrachtung der Prozesse, auch nach der Wertschöpfung des einzelnen Produkts, wesentlich. Hierzu zählen beispielsweise Prozesse wie: Sortieren, Verpacken, Transport und Montage. Diese sind hinsichtlich der Anforderungen an die technische Sauberkeit zwischen Kunden und Lieferanten abzustimmen.

Vereinbarte und getroffene Maßnahmen führen regulär zu Mehrkosten. Die Technische Sauberkeit ist hierbei als eine zusätzlich zu leistende Eigenschaft des Produkts zu verstehen.

Als Grundlage für die Methoden zur Bestimmung der technischen Sauberkeit dienen der Band VDA 19 und ISO 16232, Teile 1-10.

2. Verweisungen

- VDA 19: 2004
Prüfung der Technischen Sauberkeit - Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile
- VDA 19-2: 2010
Technische Sauberkeit in der Montage
- ISO 16232, Teile 1-10
Straßenfahrzeuge – Sauberkeit von Komponenten für Fluidsysteme

3. Grundsätzliches zur Technischen Sauberkeit

Mit Restschmutz bezeichnet man Partikel, mit denen Bauteile nach deren Fertigstellung kontaminiert sind und die den weiteren Fertigungsprozess oder die korrekte Funktion des Bauteils oder der Baugruppe beeinträchtigen oder verhindern können.

Die Technische Sauberkeit im Sinne der Normen wird auf die Freiheit und Beschränkung von definierten Partikelverunreinigungen bezogen. Eine völlige Freiheit von Partikeln (*Feststoffen*) kann es nicht geben, so dass entsprechende Forderungen einen zulässigen Grad an definierten Partikelverunreinigungen (*Restschmutz*) zulassen müssen. Unscharfe Formulierungen, wie „frei von Partikeln“, sind durch klar definierte und prüfbare Forderungen zu ersetzen.

Im Sinne dieser Empfehlung werden metallische und nichtmetallische Partikel unterschieden. Eine definitive Unterscheidung beider Partikelarten ist auf lichtmikroskopischem Wege nicht möglich. Jedoch kann mittels polarisationsoptischer Effekte mit einer relativen Wahrscheinlichkeit ein metallischer Partikel („*metallisch glänzend*“) identifiziert werden. Partikel, die nicht als „metallisch glänzend“ identifiziert wurden, werden als „nicht metallisch glänzend“ klassifiziert. Dies ersetzt keine sichere Aussage über den metallischen / nichtmetallischen Charakter des jeweiligen Partikels. Eine sichere Klassifizierung erfordert spezielle kostenintensive Prüfverfahren.

Beispiele für metallische (metallisch glänzende) Partikel:

Bearbeitungsspäne, metallische Strahlmittelrückstände, Metallreste, Zinkflitter, etc.

Beispiele für nichtmetallische (nicht metallisch glänzende) Partikel

Lack, Kunststoff, nichtmetallische Strahlmittelrückstände, Schleifmittelrückstände, etc.

Die Härte von Partikeln ist lichtmikroskopisch nicht zu ermitteln. Aus diesem Grunde ist mit den Standardmessmethoden der Technischen Sauberkeit eine Unterscheidung in harte und weiche Partikel nicht möglich.

Neben Partikeln können auch Fasern mit einem Längen- / Breitenverhältnis von mindestens 10 auftreten, die nicht metallisch glänzend sind, z.B. Kartonnagereste, Haare, Flusen. Unter anderem aufgrund ihrer deutlich geringeren Kompaktheit sind Fasern grundsätzlich von Partikeln zu unterscheiden und bei der Bewertung gesondert zu betrachten.

Die Anforderungen an den Grad der Technischen Sauberkeit sind von der Anwendung des Bauteils abhängig. Der erreichbare Grad der Technischen Sauberkeit von Verbindungselementen wird neben

dem Fertigungsprozess und der Verpackung in erster Linie von der Bauteilgeometrie und der Oberflächenbeschichtung beeinflusst.

3.1 Auswahl von geeigneten Oberflächen

Um einen hohen Grad an Technischer Sauberkeit zu erreichen, muss für das Bauteil eine geeignete Oberflächenbehandlung / Oberflächenbeschichtung gewählt werden. Metallische Oberflächenbeschichtungen, die zur Flitterbildung neigen, sind hierfür nicht oder (z. B. *alle Arten von Zinklamellenüberzügen*) nur eingeschränkt geeignet.

Geeignete Oberflächensysteme zur Erreichung eines hohen Sauberkeitsniveaus sind z. B.:

- Phosphatierüberzüge
- Galvanische Zink- und Zinklegierungsüberzüge, mit und ohne Versiegelung.

Anmerkung: Ohne Beölung oder Gleitmittelbeschichtung sind bessere Sauberkeitsgrade erreichbar. Dafür ist aber zumindest bei der Montage von Schrauben mit metrischem Gewinde mit höheren Reibungszahlen und größeren Prozessschwankungen zu rechnen. Vom Anwender muss deshalb bei der Bestellung abgewogen werden, welches Ziel vorrangig für die Anwendung erreicht werden soll (*durch eine Reinigung nach einer Beölung oder Gleitmittelbeschichtung werden diese regulär mit „abgereinigt“, so dass der Prozessschritt einer Sauberreinigung üblicherweise vor einer Beschichtung zur Reibungszahleinstellung erfolgt. Dieser Ablauf bedingt bei einer reibungsvermindernden Beschichtung/Benetzung eine mögliche Rückverschmutzung, die zu berücksichtigen ist*).

Nicht oder nur mit Einschränkungen geeignet sind z. B.:

- Zinklamellenüberzüge, mit und ohne Deckschicht

Anmerkung: Zinklamellenüberzüge neigen bei Handling, Transport und Montage zu verstärktem Abrieb. Die Ermittlung einer Abklingkurve nach VDA 19 ist mit Zinklamellenüberzügen nicht möglich.

- Klebende, klemmende und / oder dichtende Gewindebeschichtungen nach DIN 267-27 und DIN 267-28.

3.2 Bauteilgeometrie

Die Bauteilgeometrie beeinflusst in erheblichem Maße die Ermittlung des Technischen Sauberkeitsgrades. Da in vielen Normen die Angabe der maximalen Partikelfracht / Bauteil gefordert wird, sind bei der Festlegung der Sauberkeitsanforderungen die zu bewertende Oberfläche (*in cm²*) und die Geometrie des Bauteils zu berücksichtigen. Grundsätzlich gilt:

„Mit zunehmender Bauteiloberfläche steigt die Partikelfracht / Bauteil“

Die Oberfläche eines Produktes vergrößert sich näherungsweise mit dem Quadrat seiner linearen Ausdehnung (z. B. der Länge, dem Durchmesser etc.), und die Partikelfracht steigt näherungsweise linear mit der Bauteiloberfläche, wobei die spezifische Fracht bei kleineren Bauteilen zu etwas höheren Werten tendiert.

Bei der auf das Bauteil bezogenen Festlegung der gravimetrischen Partikelfracht (*mg/Bauteil*) sowie bei der Partikelgrößenverteilung (*Anzahl und Größe der Partikel/Bauteil*), müssen Fläche und Geometrie des Bauteils immer berücksichtigt werden. Analog zur Vorgehensweise in VDA 19 wird grundsätzlich empfohlen die Angaben auf eine Oberfläche von 1000 cm² umzurechnen oder, zumindest bei der Angabe pro Bauteil, dessen Oberfläche (*in cm²*) zu berücksichtigen.

3.3 Verpackung

Zur Verminderung von Abrieb und zur Vermeidung von Rückverschmutzungen bei Transport- und Lagerprozessen sind vom Lieferanten geeignete Verpackungen (z. B. *Beutelverpackung, Vakuumverpackung, Einzelverpackung*) vorzusehen. Für den Fall, dass die vom Kunden geforderte Verpackung im Widerspruch zu der Sauberkeitsanforderung stehen, sind zwischen den Vertragsparteien geeignete Maßnahmen abzustimmen.

4. Ermittlung der Technischen Sauberkeit

Die Sauberkeitsprüfung wird in den Normen der Kunden, in VDA 19 und in ISO 16232, Teile 1-10 ausführlich beschrieben. Sie wird daher hier nur zusammengefasst dargestellt.

Anmerkung: Die Sauberkeitsprüfung ist grundsätzlich eine Stichprobenprüfung. Eine Prüfung dieser Eigenschaft mittels Prüfautomaten ist nicht möglich.

Die Sauberkeitsprüfung sollte grundsätzlich der letzte Vorgang vor dem Versand an den Kunden sein, um möglichst alle Einflüsse der vorherigen Prozessschritte zu erfassen.

a) Reinigen des Bauteils

Mögliche Prüfreinigungsverfahren sind: Spritzen, Ultraschall, Schütteln oder Spülen.

Das Verfahren wird oftmals vom Kunden vorgegeben. Die Eignung des Prüfreinigungsverfahrens muss mit Hilfe der Abklingkurve validiert werden (*siehe VDA 19 und ISO 16232*).

b) Bestimmung des Blindwertes

Der Blindwert stellt den Gesamtwert für die nicht vom Bauteil stammenden Verunreinigungen dar. Er ist das Ergebnis einer vollständigen Prüfung ohne Bauteile. Der zulässige Blindwert muss

vorher ermittelt / festgelegt werden. Er darf üblicherweise 10% des geforderten Wertes nicht überschreiten.

c) Auswerteverfahren

Grundsätzlich werden zwei Auswerteverfahren unterschieden:

Gravimetrisches Auswerteverfahren

Hierbei wird die Partikelmasse (*in mg*) pro Fläche (*umgerechnet auf 1000 cm²*) und/oder pro Bauteil ermittelt. In letzterem Fall ist zusätzlich die Bauteilgröße zu berücksichtigen (*siehe Abschnitt 3.2*).

Es wird der Einsatz eines 15 µm-PE-Filters als Standard empfohlen. Es besteht die Gefahr, dass bei Filtern mit kleinerer „Nennmaschenweite“ auch nicht relevante Kontaminationen erfasst werden (*z. B. Öl oder Phosphatrückstände in Öl bei phosphatierten und geölten Oberflächen*).

Anmerkung: Bei der Extraktion von Verbindungselementen, die mit Gleitmitteln beschichtet sind, können diese bei der Gravimetrie ein höheres Schmutzgewicht vortäuschen, als es durch den tatsächlichen Grad an Restschmutz gegeben ist.

Granulometrisches Auswerteverfahren (Morphologie, Partikelgröße)

Hierbei werden Anzahl und Größe (*Länge, Breite*) der Partikel (*in µm*) pro Bauteil oder pro Fläche (*umgerechnet auf 1000 cm²*) ermittelt.

Anmerkung: Eine Zählung von Partikeln < 25 µm ist bei den heute angewendeten Vergrößerungen aus messtechnischen und wellenphysikalischen Gründen nicht sinnvoll.

d) Bewertung der Ergebnisse

Der Grad der technischen Sauberkeit wird anhand von Stichproben ermittelt. Da Partikelgrößen naturgemäß stärkeren Streuungen unterliegen als beispielsweise physikalische Charakteristika (*z. B. Härte, Durchmesser*) der Produkte, ist eine Prozessfähigkeit entsprechend der heutigen Anforderungen nicht möglich. Die häufig geforderte maximale Partikelgröße unterliegt einer Extremwertverteilung und ist damit mit extremen Streuungen behaftet. Es wird daher empfohlen, ähnlich wie bei Lebensdauerangaben gemäß VDA 3.2, die Sauberkeitsanforderungen mit Zuverlässigkeitsangaben zu verknüpfen /1/.

Für den Schiedsfall sind geeignete Regelungen zwischen Kunden und Lieferant (*z. B. Art und Weise von Wiederholprüfungen*) abzustimmen.

In vielen Spezifikationen wird eine Kombination aus gravimetrischer Auswertung und Angabe des größten Partikels verlangt.

5. Angabe von Anforderungen an die Technische Sauberkeit in Zeichnungen

Anforderungen an die Technische Sauberkeit in Bauteilzeichnungen führen in der Regel zu einem erhöhten Fertigungs- bzw.- Prüfaufwand, der je nach Grenzwert ein erhebliches Ausmaß annehmen kann. Grenzwerte sollten daher bedachtsam gewählt und in Abstimmung mit dem Lieferanten vereinbart werden.

Hierbei ist auch zu beachten, dass sich die vom Hersteller ermittelten Werte nicht unmittelbar mit den vom Abnehmer ermittelten Werten vergleichen lassen, da die Prüflinge an unterschiedlichen Stellen in der Prozesskette abgenommen werden.

Bei der Angabe von Anforderungen an die Technische Sauberkeit in Zeichnungen ist es daher erforderlich, die Vereinbarungen zur Sauberkeitsprüfung gemäß VDA 19 (*Anhang A, Punkte A.1 bis A.4*) zu beachten.

Die in Anlage 1 dieser Richtlinie aufgeführten Anhaltswerte dienen zur Auswahl von geeigneten Oberflächensystemen und zur Festlegung von realistischen Anforderungen an die Technische Sauberkeit. Diese Werte wurden von Herstellern von Verbindungselementen für die Automobilindustrie durch eigene oder externe Prüflabore sowie mit Unterstützung von Prüflaboren der OEM's ermittelt. Sie sind keine Garantiewerte, was besonders für die „maximale Partikelgröße“ gilt (*siehe Abschnitt 4 d*) und beziehen sich ausschließlich auf Verbindungselemente mit Außengewinde. Entsprechende Angaben zu Verbindungselementen mit Innengewinde sind noch zu ermitteln. Die Werte in Anlage 1 sind nur mit angepassten Prozessen zu erreichen. Eine Reduzierung dieser Werte ist nur durch einen entsprechen höheren Aufwand möglich, wobei systembedingte Grenzen zu beachten sind. Diese Grenzen werden im Wesentlichen durch das Oberflächensystem und die zulässigen Reinigungsverfahren bestimmt.

Jede Reinigung zur Reduzierung der Partikelfracht erfolgt üblicherweise nach Applikation des Oberflächensystems und übt einen mehr oder weniger starken Einfluss auf dessen Eigenschaften aus. Dies betrifft besonders die Korrosionsbeständigkeit, die reduziert werden kann und die Reibungseigenschaften, die zu höheren Reibungszahlen verschoben werden können, was zu berücksichtigen ist.

Die Anlieferung der Ware in einem definierten Sauberkeitszustand bedingt eine sauberkeitsgerechte Verpackung. Beispielweise können durch Relativbewegungen von Schrauben/Muttern zueinander infolge Abriebs Partikel generiert werden, so dass nach einem Transport die Partikelfracht höher ist als vorher. Fehlt eine geeignete Verpackung, so kann ein Sauberkeitsgrad lediglich ab Werk zugesagt werden und nicht bei Anlieferung. Eine Gewährleistung endet bei geeigneter Verpackung spätestens mit dem Kommissionieren der Ware beim Kunden oder mit dem Öffnen der Verpackung.

6. Kostenbetrachtung

Für Bauteile mit Anforderungen an die Technische Sauberkeit gelten immer besondere Festlegungen in Bezug auf Fertigung (*Reinraumklima, Filtertechnik, Sonderreinigungsprozesse*), Prüfung (*Ermittlung des Abklingverhaltens*), Verpackung, Handling, Lagerung und Versand, die grundsätzlich mit Mehrkosten verbunden sind.

7. Anlage 1: Erreichbare Sauberkeitsgrade bei Verbindungselementen mit Außengewinde nach der Beschichtung (*)

OBERFLÄCHEN-SYSTEM	BLANK (+ÖL)	VERGÜTUNGS-SCHWARZ	PHOSPHATIERT (+ÖL)	GALV. ZINK ODER ZINK-LEGIERUNG	GALV. ZINK ODER ZINK-LEGIERUNG + VERSIEGELUNG	ZINK-LAMELLE (**)
Prüffläche oder Bauteiloberfläche [cm ²]	Partikelmasse der Prüffläche / Bauteiloberfläche	Partikelmasse der Prüffläche / Bauteiloberfläche	Partikelmasse der Prüffläche / Bauteiloberfläche	Partikelmasse der Prüffläche / Bauteiloberfläche	Partikelmasse der Prüffläche / Bauteiloberfläche	Partikelmasse der Prüffläche / Bauteiloberfläche
≤ 20	0,3 mg	0,5 mg	1 mg	0,3 mg	0,3 mg	(3 mg)
21 - 50	0,5 mg	1 mg	2 mg	0,5 mg	0,5 mg	(5 mg)
51 - 100	0,6 mg	2 mg	3 mg	1 mg	1 mg	(10 mg)
101 - 400	1 mg	3 mg	5 mg	2 mg	2 mg	(25 mg)
401- 1000	3 mg	7 mg	10 mg	5 mg	5 mg	(60 mg)
Maximale Partikelgrößen	600 µm	800 µm	800 µm	600 µm	800 µm	(2000 µm)

(*) Die in der Tabelle aufgeführten Werte basieren auf Mittelwerten von Stichproben und können nicht als Garantiewerte angesehen werden. Die angegebenen Werte beziehen sich auf Verbindungselemente mit Außengewinde.

(**) Dieses Oberflächensystem eignet sich nicht zum Erreichen hoher Sauberkeitsanforderungen, insbesondere bei Handhabung als Schüttgut.

Wichtiger Hinweis: Silikatische Versiegelungen/Topcoats können den erreichbaren Sauberkeitsgrad nachteilig beeinflussen

8. Literatur

- /1/ J. Böttner, EJOT GmbH & Co. KG, Bad Laasphe
 Optimierte Prozessgestaltung zur Sicherstellung hoher Bauteilsauberkeit
 Herstellung, Verpackung, Transport;
 DSV-Workshop „Schraubmontage“ am 13. September 2012 in Dresden

ENDE DES DOKUMENTS

Bei Fragen oder Anregungen zu dieser Richtlinie wenden Sie sich bitte an

- Jürgen Böttner (E-Mail: jboettner@ejot.de; Tel.: 02752-109-137) oder
- Dr. Stefan Beyer (E-Mail: sbeyer@schraubenverband.de; Tel.: 02331-9588-45)